

文章编号: 2096-1618(2024)04-0481-07

阿勒泰地区地闪时空分布特征及影响因素分析

樊星¹, 樊校年², 刘兆旭¹, 张晗¹

(1. 新疆维吾尔自治区防雷减灾中心, 新疆 乌鲁木齐 830000, 2. 国网新疆电力有限公司乌鲁木齐供电公司, 新疆 乌鲁木齐 830000)

摘要:为更好了解近年来阿勒泰地区地闪的时空分布特征及其影响因素,利用阿勒泰地区 2013–2021 年的地闪定位监测资料、气象参数和 DEM 高程等数据,采用反距离权重法、皮尔逊相关性分析等方法,对阿勒泰地闪进行分析。结果表明:年平均负地闪比例为89.03%,年平均白天地闪所占比例为64.48%。正地闪、负地闪、总地闪频次月变化均呈单峰型。总地闪、负地闪频次日变化整体呈 M 型。总地闪频次主要发生时段为 14–18 时。阿勒泰地区正地闪、负地闪频次百分比都呈单峰型,且均在 20~40 kA 达到顶峰。阿勒泰地区北部为地闪密度高值区。地闪频次、地闪电流强度与海拔高度通过了显著性检验。地闪频次与平均气温、平均相对湿度、降水量、2 min 平均风速均通过了显著性检验。

关键词:阿勒泰地区;地闪密度;影响因素;相关分析

中图分类号:P446

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2024.04.014

0 引言

闪电常常会引发建筑物起火、化工厂爆炸、人员伤亡^[1-2]等灾害,随着经济的发展,电子和微电子设备在各行各业中普遍使用,而闪电会对电子和微电子设备的正常运行造成严重干扰,甚至会造成设备损坏^[3]。闪电灾害是生活中存在的严重隐患,地闪特征统计分析的研究成果可以应用于多个方面,如雷电灾害风险区划、鉴定雷击灾害事故等,可制定相应的闪电灾害防御措施。

近年来随着科技的不断发展,闪电监测技术不断提升,闪电定位系统数据可更详细地提供地闪发生的时间、经纬度和强度等要素,以前一般通过雷暴日观测资料进行分析^[4-5]。通过雷暴日观测资料与闪电定位系统数据的对比分析,发现闪电定位数据可以替代雷暴日数据^[6-7]。国内学者利用闪电资料,针对广东、京津冀地区、云南、北京、安徽、重庆进行地闪时空分布特征的相关分析^[8-13],但针对阿勒泰地区尚无这方面的专门研究。气象因子对地闪分布有影响,研究认为在喜马拉雅地区,适度的相对湿度是闪电产生的有力条件^[14];费蕾蕾等^[15]、张祎等^[16]分析了香港、浙江省及周边地区气象因子对地闪分布的影响;对山西、杭州、泰山景区、长沙、重庆、湖北进行了地形海拔对地闪的影响分析^[17-22];Petrov 等^[23]认为,地闪主要受气压、温度、湿度及海拔高度的影响。阿勒泰地区地形复杂,气候多变,本次对阿勒泰地区地闪影响因素的分析研究,具有重要意义。

阿勒泰位于亚洲大陆腹地,地处阿尔泰山南麓,是丝绸之路的重要通道。随着全球变暖的环境变化,各种气象灾害频发,阿勒泰地区是新疆地闪的高密度区^[24],也是新疆闪电灾害风险极高区之一^[25],通过对阿勒泰地区地闪时空分布特征的分析,可以为阿勒泰地区雷电预警提供相应依据。

本文利用阿勒泰地区 2013–2021 年的地闪定位监测数据、气象数据及 DEM 高程数据等相关资料,结合 ArcGis、SPSS 等软件,分析地闪频次和地闪电流强度的时间变化特征、地闪密度的空间分布特征,并完成海拔高度、平均气温、平均相对湿度、2 min 平均风速、降水量与地闪的相关性分析。平均风速指某一段时间内,各次观测的风速的算术平均值,2 min 平均风速也可达到一定代表性的要求,阿勒泰地区 2013–2021 年存有且连贯的风速数据只有 2 min 平均风速,故本文关于风速的研究使用 2 min 平均风速。

1 数据与方法

1.1 资料

2013–2021 年阿勒泰地闪数据及逐日的平均气温、平均相对湿度、2 min 平均风速、降水量等气象数据从新疆维吾尔自治区气象信息中心申请气象大数据云平台“天擎”处下载。阿勒泰 1:100 万公众版基础地理信息数据(2021)来自中国地理信息资源目录服务系统,DEM 90 m 数据(SRTM 90 m)来源于中国科学院地理科学与资源研究所。

1.2 方法

剔除境外地区的地闪数据,剔除 $-5 \sim 5$ kA的小幅值地闪数据^[26]。通过地闪数据分析地闪频次和电流强度的时间分布特征,利用GIS软件,将闪电定位系统探测到的地闪数据划分为 $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$ 网格,统计每一网格内的地闪次数,采用反距离权重法,分析地闪密度的空间分布特征。利用DEM高程数据,结合GIS软件,提取各地闪数据对应的海拔高度值,按每100 m划分海拔间隔^[27],分析海拔高度与地闪频次、地闪电流强度的关系,并利用SPSS软件,进行海拔高度与地闪频次、地闪电流强度的相关性分析及平均气温、平均相对湿度、2 min平均风速、降水量与地闪频次的相关性分析。

2 结果与分析

2.1 地闪频次的变化特征

2.1.1 地闪频次的年变化特征

阿勒泰地区地闪频次年变化如图1所示,年平均正地闪为1887次,2013–2017年正地闪频次均大于2000次,其中最高的年份是2016年,为2933次。年平均负地闪为15319次,其中最高的年份是2014年,为27817次。年平均总地闪频次为17206次,其中2014年最高,为30099次,2018年最低,仅有8820次,2018年也是正、负地闪频次最低的年份。年平均负地闪比例为89.03%,这与张义军等^[28]对青藏高原东部地区的研究结果(88.89%)、冯桂力等^[29]对山东的研究结果(87.76%)接近,略低于赵伟等^[30]对浙江的研究结果(94.90%)和王学良等^[31]对湖北的研究结果(96.2%)。负地闪明显多于正地闪,陈渭民^[32]研究表明,正电荷位大多于雷暴云中,而负电荷主要位于雷暴云下部,距离地面近,相较于正电荷对地放电更容易,负地闪所占比例受海拔高度、纬度、地形等因素影响,不同地区负地闪所占比例存在一定的差异性。

2013年白天地闪所占比例最高,为72.46%,2019年占比最低,为51.43%。2013–2021年,白天地闪比例均大于50%,其中2013–2016年及2020年,其白天地闪比例均大于65%,年平均白天地闪比例为64.48%,阿勒泰地区山脉湖泊众多,白天因受太阳辐射,南北山坡或谷底与山坡、陆地与湖泊的增温不同,空气的热量差异会加强对流的发生,因此地闪主要发生在白天。这与王义耕等^[33]对华南地区的研究结果(62.81%)接近,华南地区同样地形起伏较大,濒临南海,白天不同下垫面增温不同,更易引发对流,因此白天更易发生地闪。

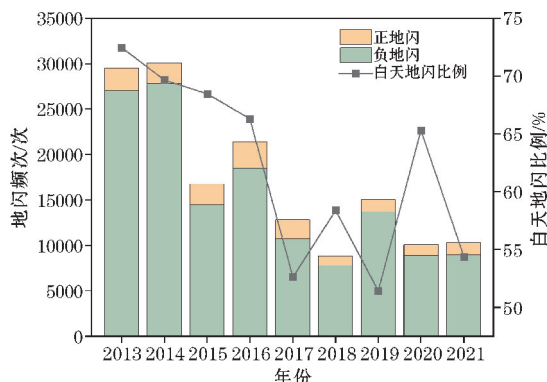


图1 2013–2021年阿勒泰地区地闪频次及白天地闪比例年分布

2.1.2 地闪频次的月变化特征

阿勒泰地区地闪频次月变化如图2所示,正地闪、负地闪、总地闪频次为单峰型,且均在7月达到顶峰,在10月达到谷底。6–8月发生地闪次数最多,占全年总地闪频次的89.90%。夏季是阿勒泰地区地闪的高发期,李帅等^[34]研究表明,阿勒泰地区夏季平均降水量为春季、秋季的1.47倍以上,平均蒸发量为春季、秋季的1.68倍以上,平均气温为春季、秋季的3.77倍以上。夏季对流旺盛,水汽充足,上升气流能够将更多的水成物粒子携带到云中,从而有助于软雹和冰晶在过冷环境下碰撞起电,上升气流速度越大,地闪频次越高。正地闪、负地闪在4月和10月发生次数最少,远低于其他月份,4月正地闪、负地闪仅占总地闪频次的0.15%和0.92%,10月仅占0.04%和0.12%。这是因为春秋季节气候干燥,气温较低,不利于对流形成,难以形成闪电。正地闪在每个月所占比例不同,从4–5月,正地闪比例增大,5月后逐渐减少,7月达到最低点,正地闪比例仅占9.74%,随后不断增大,在10月达到顶峰。

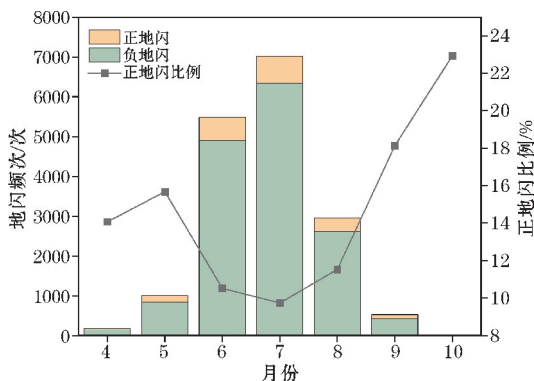


图2 2013–2021年阿勒泰地区地闪频次以及正地闪比例月变化

2.1.3 地闪频次的日变化特征

阿勒泰地区地闪频次日变化如图3所示,负地闪、总地闪频次变化呈M型,正地闪频次只有轻微的起伏变化,其最大值与最小值之差不大于1。每个小时内都有地闪发生,负地闪频次在各个小时内均大于正地闪频次。总地闪频次主要发生时段为14–18时,占总体比例的36.13%。王凯等^[35]发现皖南山区地闪发生的主要时段为14–17时,刘晓东等^[36]发现内蒙古地闪

主要发生在14-18时,成勤等^[37]发现中国中部5省地闪主要发生在14-20时,地闪主要发生在午后,这是因为午后因太阳辐射使地表温度增高,有利于产生对流,从而引发地闪。总地闪频的两个峰值分别在7-8时及16-17时,余海等^[38]研究发现海南岛地闪的峰值分别为5时和16时,费蕾蕾等^[15]发现香港地区地闪频次在01时达到最大值。地闪频次受海陆分布、太阳辐射、地理环境等因素影响,不同地区地闪频次的日变化也有所不同。

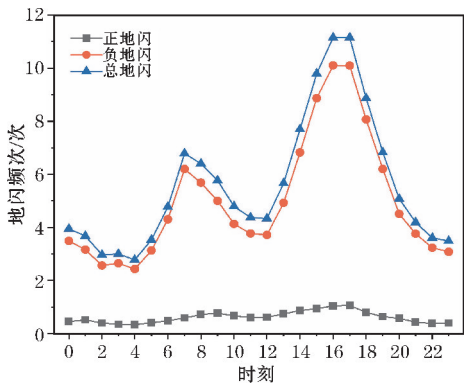


图3 2013-2021年阿勒泰地区地闪频次日变化

2.2 地闪电流强度的变化特征

2.2.1 地闪电流强度概率变化特征

按每20 kA划分雷电流强度间隔,对不同地闪电流强度区间发生的地闪频次及累计百分比变化进行分析。如图4所示,阿勒泰地区正地闪、负地闪频次百分比都呈单峰型,且均在20~40 kA达到顶峰,所占比例分别为28.53%及49.22%。正地闪频次在40~60 kA达到次顶峰,在20~60 kA,正地闪百分比高达54.54%。负地闪频次在0~20 kA达到次顶峰,在0~40 kA负地闪百分比高达72.45%。90%的正地闪电流强度小于120 kA,90%的负地闪电流强度小于80 kA。当地闪电流强度大于120 kA时,正地闪、负地闪在每个区间段所占比例均小于4%和1%。

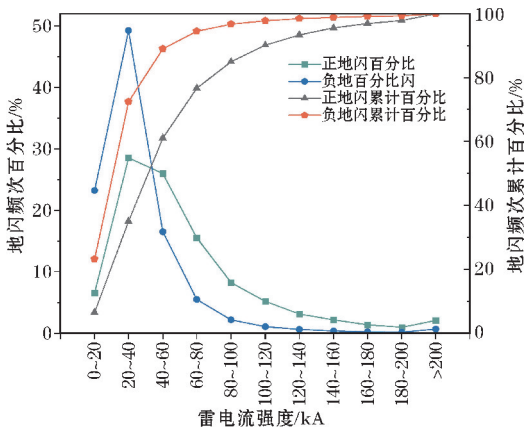


图4 2013-2021年阿勒泰地区不同地闪电流强度区间发生的地闪频次及累计百分比变化

2.2.2 地闪电流强度的月变化特征

阿勒泰地区正地闪、负地闪、总地闪电流强度月变化如图5所示,10月为强度最大月,9月次之月,4-9月地闪电流强度变化幅度较小,正地闪电流强度最小值在7月,为62.82 kA。负地闪、总地闪电流强度最小值出现在6月,分别为34.16 kA和37.54 kA。正地闪、负地闪电流强度最大月与强度最小月的差值分别为165.55 kA和93.02 kA。正地闪、总地闪电流强度月平均值分别为89.40 kA及59.55 kA,除10月外,其余月份强度均小于平均值。负地闪电流强度月平均值为53.47 kA,4-8月地闪电流强度均小于平均值。虽然正地闪频次少于负地闪频次,但正地闪电流强度平均值是负地闪电流强度平均值的1.67倍,正地闪电流强度最大值是负地闪电流强度最大值的1.80倍,正地闪电流强度明显高于负地闪电流强度,一次负地闪放电过程通常可对大地释放几十至上百库伦的云内负电荷,而正地闪可释放几百到几千库伦千米的电荷矩,可能造成更严重的雷击灾害。

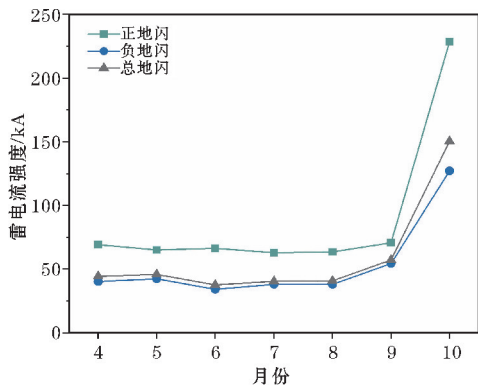


图5 2013-2021年阿勒泰地区地闪电流强度月变化

2.2.3 地闪电流强度的日变化特征

阿勒泰地区地闪电流强度的日变化如图6所示,在所有时段,正地闪电流强度均大于负地闪电流强度,正地闪电流强度在5时和17时达到顶峰,地闪电流强度分别为74.33 kA和73.92 kA,其余时段地闪电流强度均小于70 kA,正地闪电流强度最小值出现在01时,为57.80 kA。负地闪电流强度在02-06时和11-12时达到顶峰,其余时段地闪电流强度均小于40 kA,负地闪电流强度最小值出现在18时,为33.78 kA。总地闪电流强度变化起伏与负地闪电流强度相似,正地闪电流强度的日平均值为64.77 kA,是负地闪电流强度的1.70倍,总地闪电流强度的1.57倍,正地闪更容易引发热效应,雷电流会在雷击点局部范围内产生高达6000℃~10000℃,甚至更高的温度,能使金属熔化、树木草堆被点燃,甚至引发爆炸,正地闪会引发更为严重的雷电事故。郭风霞等^[39]研究表明,正地闪的发生预示雷暴强度更强,会发生更严重的灾害,因此对正地闪的研究可

以为防灾减灾提供一定的理论依据和技术支持。

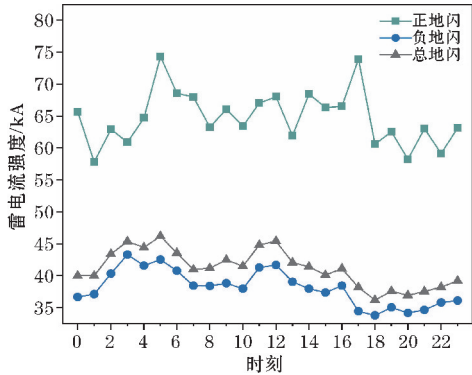


图 6 2013–2021 年阿勒泰地区地闪电流强度日变化

2.3 地闪密度的变化特征

利用 GIS 软件,将地闪数据划分为1 km×1 km网格,通过反距离权重法,绘制出 2013–2021 年阿勒泰地区的平均地闪密度分布图如图 7 所示。由图 7 可知,地闪密度高值区为阿勒泰北部的吉木乃县、布尔津县、阿勒泰市及福海县西北部,阿勒泰地区南部地闪密度明显小于北部。阿勒泰地区北部有阿尔泰山脉,吉木乃县以南有萨吾尔山,阿勒泰南部是准噶尔盆地,阿勒泰地区地形复杂,南北气候差异大,北部山区对经过的风有机械屏障作用,北部山区的谷底对进入的气流有喇叭口效应,山区崎岖不平的地形对经过的气流有摩擦力作用,南北山坡或谷底与山坡在夏季会有不同的增温,这些因素都会引发对流,且北部山区年降雨

量也大于阿勒泰南部,这使阿勒泰北部具备了闪电形成的重要条件,即丰富的水汽及抬升气块的启动机制,因此北部山区更容易引发闪电,阿勒泰北部地闪密度大于阿勒泰南部。

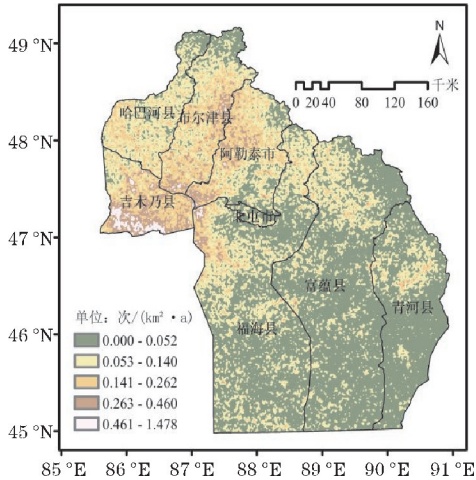


图 7 2013–2021 年阿勒泰地区年平均地闪密度的空间分布

利用 GIS 软件,通过对阿勒泰地区每个网格内地闪次数的统计,可得出不同地闪密度所占的面积大小,由表 1 可知,阿勒泰地区不同地闪密度所占面积从 2013 年开始整体呈先减小后增大再减小的趋势,2013 年所有地闪密度所占面积都是最大的,2018 年除大于等于4 次/(a·km²)的地闪密度外,其余地闪密度所占面积均为最小值。由此可知,2013 年地闪密度整体大于其他年份,2018 年地闪密度整体小于其他年份。

表 1 2013–2021 年阿勒泰地区各段地闪密度累计面积及其百分比

年份	地闪密度/(次·a ⁻¹ ·km ⁻²)							
	≥1		≥2		≥3		≥4	
	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%	面积/km ²	占比/%
2013	12566	10.57	2648	2.23	788	0.66	279	0.23
2014	12508	10.52	2162	1.82	583	0.49	213	0.18
2015	8370	7.04	866	0.73	169	0.14	46	0.04
2016	8190	6.89	899	0.76	160	0.13	45	0.04
2017	6857	5.77	799	0.67	136	0.11	25	0.02
2018	4633	3.90	439	0.37	75	0.06	21	0.02
2019	7638	6.42	1034	0.87	222	0.19	58	0.05
2020	5087	4.28	1530	1.29	222	0.19	82	0.07
2021	5727	4.82	619	0.52	94	0.08	20	0.02

2.4 地闪时空分布影响因素分析

2.4.1 地闪与海拔高度的相关性分析

2013–2021 年阿勒泰地区发生地闪的海拔高度为 366 ~ 3807 m,将海拔高度以 100 m 划分,并对每个海拔高度区间段的地闪频次和地闪电流强度进行统计,阿勒泰地区地闪频次、地闪电流强度随海拔的变化如

图 8 所示,地闪频次呈单峰型,在 500 ~ 600 m 达到顶峰,地闪频次为 10294 次,后随海拔高度的增加而急速减少,当海拔高度>3500 m 时,所发生的地闪频次不超过 20 次。阿勒泰地区地闪电流强度随海拔高度的增加缓慢增加,在海拔为 2800 ~ 2900 m 左右达到顶峰,地闪电流强度高达 50.65 kA,之后地闪电流强度随海拔高度的增加而下降。

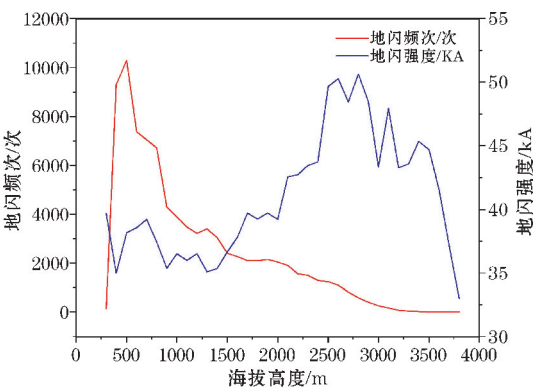


图 8 2013–2021 年阿勒泰地区地闪频次和地闪电流强度随海拔高度上升的变化

通过 SPSS 软件,对地闪频次、地闪电流强度与海拔高度进行皮尔逊相关性分析,由表 2 可知,地闪频次与海拔高度之间的显著性(双尾)为0.000,通过了显著性检验,相关系数为-0.632,为负相关。地闪电流强度与海拔高度之间的显著性(双尾)为0.000,通过了显著性检验,存在显著相关关系,相关系数为0.050,为正相关。

表 2 2013–2021 年阿勒泰地区地闪频次、地闪电流强度与海拔高度的相关系数

地闪频次/次	皮尔逊相关性	-0.632 **
	显著性(双尾)	0.000
地闪电流强度/kA	皮尔逊相关性	0.050 **
	显著性(双尾)	0.000

注:**在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

2.4.2 地闪频次与气象因子的相关性分析

闪电受气候、海陆分布、地理位置、地形地势等因素影响,通过 2013–2021 年阿勒泰地区逐日的平均气温、平均相对湿度、2 min 平均风速、降水量等气象数据,利用 SPSS 软件,对其与地闪频次进行显著性检验,并计算相关系数。通过皮尔逊相关性分析,由表 3 可知,地闪频次与平均气温、平均相对湿度、降水量均通过了显著性检验,且均为正相关,地闪频次与 2 min 平均风速也通过显著性检验,为负相关,与阿勒泰地区地闪频次相关性最高的是平均温度,其次为平均相对湿度和降水量。赵伟等^[30]发现浙江省地闪频次与平均气温、平均相对湿度、2 min 平均风速、降水量均通过了显著性检验,气温与地闪频次的相关系数最高,与本文研究一致,费蕾蕾等^[15]发现香港地区地闪频次与平均温度、平均相对湿度、降雨量通过了显著性检验且为正相关,降水量与地闪频次的相关性最高,与本文研究存在不同,不同地区地闪频次与气象因子的相关性具有一定的差异性。大气层结是指大气中温度和湿度的垂直分布,稳定的大气层结会抑制气块的上升运动,从而抑制对流的发展,当空气处于上层干冷下层暖湿的状

态时,有利于不稳定层结的建立和发展,大气中能够维持强对流运动的机制是层结不稳定,对流是地闪发生的重要条件。由地闪频次与平均温度、平均相对湿度、降水量的正相关可以看出,高温及丰富的水汽可让阿勒泰下层空气处于暖湿状态,对阿勒泰地区地闪发生具有促进作用。局地热雷暴多发生在暖季,在几乎是静止的和均一的热气团内发生,因下层空气受热或上层空气受冷发生强烈的上下对流作用而形成的雷暴,往往决定于局部的地表、地形、温、湿等条件。如在山岭地区,因山坡的抬升作用而形成雷暴,如在水陆交界等地区,因太阳辐射增温快慢不同而形成雷暴。阿勒泰地区山脉丰富,湖泊众多,全地区山区占总面积的 32%,丘陵河谷平原占 22%,在暖季很容易发生局地热雷暴,而局地热雷暴常常发生在在闷热、无风和晴朗夏天的午后。阿勒泰地区发生地闪时,当天的平均风速相对来说更低,故而地闪频次与 2 min 风速为负相关。

表 3 2013–2021 年阿勒泰地区地闪频次与气象参数的相关系数

项目	平均温度	平均相对湿度	2 min 平均风速	降水量
皮尔逊相关性	0.200 **	0.150 **	-0.078 **	0.135 **
显著性(双尾)	0.000	0.000	0.008	0.000

注:**在 0.01 级别(双尾),相关性显著。

3 结论与讨论

通过对阿勒泰地区 2013–2021 年的地闪数据、气象数据等资料的分析,得出以下结论:

- (1)年平均总地闪频次为 17206 次,年平均负地闪比例为89.03%,与青藏高原东部地区、山东的负地闪比例接近,略低于浙江、湖北的负地闪比例。年平均白天地闪比例为64.48%,与华南地区比例接近。正地闪、负地闪、总地闪频次月变化均呈单峰型,7 月达到顶峰,6–8 月为阿勒泰地区地闪频次高发月,占全年总地闪频次的89.90%,阿勒泰夏季对流旺盛,水汽充足,易形成地闪。正地闪、负地闪 4 月和 10 月发生次数最少,这是因为春秋季节气候干燥,气温较低,不利于对流形成,难以形成闪电。正地闪所占比例 7 月最低,10 月最高。负地闪、总地闪频次日变化趋势相似,呈 M 型,正地闪频次日变化不明显,总地闪频次主要发生时段为 14–18 时,与皖南山区、内蒙古、中部五省的地闪主要发生时段接近,地闪主要发生在午后。总地闪频次的两个峰值分别在 07–08 时及 16–17 时,与海南岛、香港地区不同,这是因为地闪频次受海陆分布、太阳辐射、地理环境等因素的影响。
- (2)随地闪电流强度不断增大,阿勒泰地区正地闪、负地闪频次百分比都呈单峰型,且均在 20~40 kA

达到顶峰。90%的正地闪电流强度小于120 kA,90%的负地闪电流强度小于80 kA。正地闪、负地闪、总地闪电流强度月平均值分别为89.40 kA、53.47 kA及59.55 kA,10月均达到最大值,正地闪电流强度平均值是负地闪电流强度平均值的1.67倍。一天所有时段内正地闪电流强度均大于负地闪电流强度,正地闪电流强度在05时和17时达到顶峰,最小值出现在01时,负地闪电流强度在02-06时和11-12时达到顶峰,最小值出现在18时,正地闪电流强度的日平均值为64.77 kA,是负地闪电流强度的1.70倍,总地闪电流强度的1.57倍,正地闪会引发更为严重的雷电灾害。

(3)地闪密度高值区为阿勒泰北部的吉木乃县、布尔津县、阿勒泰市及福海县西北部,阿勒泰南部地闪密度明显小于北部,阿勒泰北部具备丰富的水汽及抬升气块的启动机制,这是闪电形成的重要因素,因此北部山区更容易引发闪电。阿勒泰地区不同地闪密度所占面积从2013年开始整体呈先减小后增大再减小的趋势,2013年所有地闪密度所占面积都是最大的。阿勒泰地区2013年及2014年各地闪密度所占面积高于其他年份,通过分析阿勒泰地区及新疆地区相关的研究和数据,暂无法得出突变的原因,在今后将对此展开更深入的研究。

(4)地闪频次随海拔的变化呈单峰型,在500~600 m达到顶峰,地闪电流强度随海拔高度的增加缓慢增加,在海拔为2800~2900 m左右达到顶峰,地闪频次、地闪电流强度与海拔高度的关系均通过了显著性检验,地闪频次与海拔高度呈负相关,地闪电流强度与海拔高度呈正相关。地闪频次与平均气温、平均相对湿度、降水量均通过了显著性检验,且均为正相关,地闪频次与2 min平均风速也通过显著性检验,为负相关,与阿勒泰地区地闪频次相关性最高的是平均温度,其次为平均相对湿度和降水量,高温及丰富的水汽对阿勒泰地区地闪具有促进作用。

致谢:感谢金锋华云发展基金项目(HYj202208)对本文的资助

参考文献:

- [1] Ronald L Holle, Ashraf Dewan, Ryan Said, et al. Fatalities related to lightning occurrence and agriculture in Bangladesh [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2019, 41 (C): 101264.
- [2] Hugh G P Hunt, Ryan Blumenthal, Ken J Nixon, et al. A multidisciplinary forensic analysis of two lightning deaths observed in South Africa [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2020, 51: 101814.
- [3] 顾媛,史海锋,张卫斌,等.浙江省雷电灾害与区域地闪关系分析[J].浙江气象,2022,43(1):45-49.
- [4] 李照荣,康凤琴,马胜萍.西北地区雷暴气候特征分析[J].灾害学,2005(2):83-88.
- [5] 贾朝阳,王盘兴,李丽平,等.山西省夏季雷暴的区域性及影响因子分析[J].自然灾害学报,2009,18(2):107-114.
- [6] 钟颖颖,冯民学,周曾奎,等.闪电定位资料与目测雷暴日的对比分析[J].气象科学,2010,30(6):851-855.
- [7] 曾庆锋,力梅,兰红平,等.闪电定位数据替代雷暴日人工观测初探[J].干旱气象,2018,36(5):813-819.
- [8] 庄燕洵,刘三梅,黄惺惺,等.广东省地闪密度空间分布的特征分析[J].广东气象,2014,36(4):57-60.
- [9] 杨敏,杨晓亮.2007-2015年京津冀地区闪电分布特征[J].气象与环境学报,2016,32(4):119-125.
- [10] 刘雪涛,谢屹然,许迎杰,等.云南闪电活动的时空分布特征[J].干旱气象,2019,37(5):729-735.
- [11] 王东方,郅秀书,袁善锋,等.北京地区的闪电时空分布特征及不同强度雷暴的贡献[J].大气科学,2020,44(2):225-238.
- [12] 鞠晓雨,王凯,朱浩.2011-2021年安徽省闪电时空分布特征分析[J].沙漠与绿洲气象,2022,16(5):110-117.
- [13] 任照环,李卫平,曾宇,等.基于ADTD闪电定位资料的重庆市地闪特征分析[J].气象与环境学报,2022,38(3):144-149.
- [14] Damase Narayan Prasad, Banik Trisanu, Paul Bapan, et al. Comparative study of lightning climatology and the role of meteorological parameters over the Himalayan region [J]. Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2021, 219: 105527.
- [15] 费蕾蕾,毕新慧,刘永林,等.香港地区地闪时空分布特征及其影响因素[J].热带气象学报,2017,33(5):617-626.
- [16] 张祎,边学文,王康挺,等.基于TRMM/LIS资料的浙江省及周边地区闪电特征和气象要素分析[J].热带气象学报,2021,37(4):602-610.
- [17] 范仲之,付雅婷.山西省闪电活动时空特征及其与地形的相关性分析[J].广东气象,2017,39(4):69-72.
- [18] 边学文,郑文佳,李强,等.2010-2019年杭州地闪变化特征及其与海拔高度的关系[J].气象与环境学报,2021,37(6):86-92.
- [19] 刘向科,康宁,邱桀,等.泰山景区地闪分布特征及与海拔高度关系研究[J].海洋气象学报,2021,41(4):102-108.
- [20] 周明薇,刘越屿,黄浩,等.基于DEM数据的长沙地区地形因子与地闪活动关系研究[J].气

- 象与环境学报,2022,38(6):106-111.
- [21] 张新科,何跃,程译莹,等.重庆地区复杂地形影响下地闪活动特征分析[J].热带气象学报,2022,38(5):694-703.
- [22] 余田野,徐达军,余彦龙,等.湖北省地形特征对雷电参数的影响[J].气象科技,2022,50(5):734-741.
- [23] Petrov N I, Waters R T. Lightning to earthed structures: Striking distance variation with stroke polarity, structure geometry and altitude based on a theoretical approach[J]. Journal of Electrostatics, 2021, 112: 103599.
- [24] 钱勇,谭侨,焦阳,等.2013-2016年新疆地区闪电活动时空特征分析[J].成都信息工程大学学报,2018,33(1):62-67.
- [25] 王延慧,张建涛,叶文军,等.基于ArcGIS的新疆雷电灾害风险区划研究[J].沙漠与绿洲气象,2019,13(6):96-104.
- [26] 李家启,栾健,王鹏,等.闪电定位资料质量控制中小幅值地闪范围的研究[J].高电压技术,2014,40(3):727-731.
- [27] 李家启,申双和.采用闪电定位系统的丘陵山区雷电特征分析[J].高电压技术,2011,37(9):2218-2224.
- [28] 张义军,葛正谟,陈成品,等.青藏高原东部地区的大气电特征[J].高原气象,1998(2):26-32.
- [29] 冯桂力,陈文选,刘诗军,等.山东地区闪电的特征分析[J].应用气象学报,2002(3):347-355.
- [30] 赵伟,童杭伟,张俊,等.浙江省雷电时空分布特征及影响因素分析[J].电网技术,2013,37(5):1425-1431.
- [31] 王学良,刘学春,黄小彦,等.湖北地区云地闪电时空分布特征分析[J].气象,2010,36(10):91-96.
- [32] 陈渭民.雷电学原理[M].北京:气象出版社,2006:199-205.
- [33] 王义耕,陈渭民,刘洁. TRMM 卫星观测到的华南地区的闪电时空分布特征[J].热带气象学报,2009,25(2):227-233.
- [34] 李帅,李祥余,何清,等.阿勒泰地区近40年的气候变化研究[J].干旱区研究,2006(4):637-643.
- [35] 王凯,朱浩,鞠晓雨,等.安徽省皖南山区地闪特征对比分析[J].气象与环境学报,2016,32(3):83-88.
- [36] 刘晓东,冯旭宇,宋昊泽,等.内蒙古地区雷电活动及雷灾特征分析[J].灾害学,2016,31(1):60-65.
- [37] 成勤,王学良,肖稳安,等.我国中部五省云地闪电时空分布特征分析[J].暴雨灾害,2011,30(3):254-259.
- [38] 余海,张廷龙,高燧,等.2010—2013年海南岛地闪活动的特征分析[J].中国科学院大学学报,2016,33(2):195-203.
- [39] 郭凤霞,陆干沂,吴鑫,等.强雷暴中正地闪发生的条件[J].中国科学:地球科学,2016,46(5):730-742.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Cloud-to-Ground Lightning Activity in Aletai Region and Influencing Factors

FAN Xing¹, FAN Xiaonian², LIU Zhaoxu¹, ZHANG Han¹

(1. The lightning Protection Center of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China; 2. State Grid Xinjiang Electric Power Company Limited Urumqi Power Supply Company, Urumqi 830000, China)

Abstract: To better understand the temporal and spatial distribution characteristics of cloud-to-ground lightning in the Aletai region in recent years and its influencing factors, cloud-to-ground lightning positioning monitoring data, meteorological parameters, and DEM elevations in the Aletai region from 2013 to 2021 were used to analyze the cloud-to-ground lightning in Aletai by methods such as through inverse distance weighting method and Pearson correlation analysis. The results show that the annual average proportion of negative clouds to ground lightning is 89.03%, and the annual average proportion of daytime clouds to ground lightning is 64.48%. The monthly changes of positive cloud-to-ground lightning negative cloud-to-ground lightning and total cloud-to-ground lightning frequency were all in a single-peaked pattern. The overall daily changes in total cloud-to-ground lightning and negative cloud-to-ground lightning frequency were M-shaped. The main occurrence time of total cloud-to-ground lightning frequency is 14:00-18:00. The percentages of positive and negative ground lightning in the Aletai region are single-peaked, and both peak in the 20-40 kA range. The northern part of the Aletai region is the area with a high value of cloud-to-ground lightning density. The cloud-to-ground lightning frequency, cloud-to-ground lightning current intensity, and altitude passed the significance test. Cloud-to-ground lightning frequency, mean temperature, mean relative humidity, precipitation, and 2-minute mean wind speed all passed the significance test.

Keywords: Aletai region; the cloud-to-ground lightning density; influencing factors; correlation analysis